

# Rehabilitación de estructuras de hormigón: técnicas y sistemas

Fernando Rodríguez García. Ingeniero de Caminos, C. y P. del Estado. Jefe del Servicio de Durabilidad de Estructuras. CEDEX, Ministerio de Fomento

Se presenta una perspectiva general de los métodos y sistemas que, habitualmente, son más empleados para la reparación y refuerzo de estructuras de hormigón. Tras el establecimiento de los principios básicos, que deben cumplir para cada caso los sistemas seleccionados, se analizan los aspectos más significativos a seguir para el tratamiento de diversas casuísticas, como la existencia de fisuras, la recuperación de secciones de hormigón o la metodología correcta frente a daños provocados por la corrosión de las armaduras.

El refuerzo de estructuras se contempla tanto mediante el recrecido de secciones estructurales, como para la incorporación de armaduras, ya sean embebidas en el hormigón o externas al mismo (por ejemplo, mediante chapas encoladas o bandas de fibra de carbono en matriz de resinas).

Las estructuras de hormigón son susceptibles de sufrir durante su vida de servicio diversas incidencias que pueden hacer necesaria una intervención, más o menos enérgica, con objeto de recuperar su aspecto, reponer su capacidad mecánica original (reparaciones) o incrementar la misma (refuerzos).

Las causas que originan los posibles problemas condicionan la estrategia a seguir durante la intervención. Su origen puede ser muy variado. A modo de una primera aproximación, puede distinguirse entre :

## Reparaciones

- consecuencia de problemas de durabilidad y, en especial, por existencia de corrosión en las armaduras.
- consecuencia de las cargas de servicio u otras causas accidentales, como es el caso de impactos en el caso de puentes de carretera.

## Refuerzos

- consecuencia de una característica del material poco adecuada respecto al proyecto, por utilización de dosificaciones incorrectas, problemas de ejecución, etc.
- consecuencia de errores en la definición de las acciones consideradas en el proyecto.
- consecuencia de un cambio en las características de las acciones que actúan sobre la estructura.

## IDEAS BÁSICAS SOBRE MATERIALES Y SISTEMAS EMPLEADOS PARA LA REPARACIÓN Y EL REFUERZO DE ESTRUCTURAS

Aun cuando cada intervención conlleva sus particularidades, es posible la enumeración de una serie de aspectos que pueden estimarse como fundamentales para conseguir unos resultados adecuados. Estos puntos son:

– Necesidad de la existencia de un proyecto y que, además, éste obedezca a una metodología correcta.

– Intervención que ataje las causas del problema, no los síntomas.

– Estudio adecuado de los materiales y de su compatibilidad con los de la obra existente.

– Estudio del comportamiento tensional en servicio de las zonas reparadas.

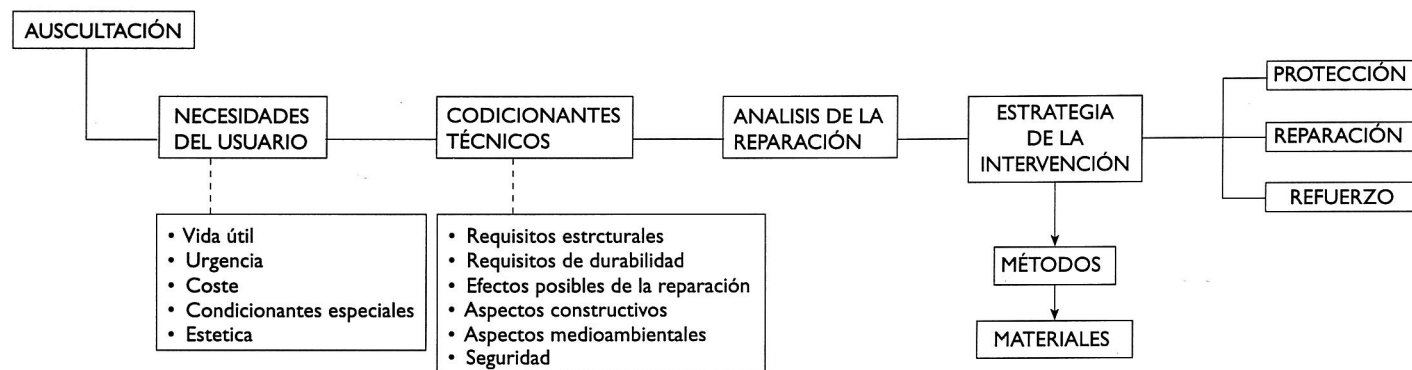
Efectivamente, en primer lugar, hay que señalar que toda intervención de reparación y/o refuerzo debe ser estudiada y analizada por un técnico competente que, tras el análisis del problema y de sus condicionantes, plantee una estrategia de reparación eficaz para, finalmente, desarrollarla en un proyecto definido y concreto (figura 1).

Cualquier intervención que pretenda ser eficaz, debe partir de una fase previa de auscultación, estudio y diagnóstico de las causas que han provocado el deterioro o el problema que se pretende solucionar. Más allá de la constatación de las patologías presentes en la estructura (síntomas), es fundamental una correcta identificación de las causas que han dado origen al problema. Sólo así puede actuarse correctamente atacando la causa y no limitándose, como ocurre en ocasiones, a simples operaciones de cosmética que, lejos de solventar el problema, pueden colaborar a su agravamiento (figura 2).

Un tercer aspecto muy importante a la hora de efectuar una reparación consiste en la necesidad de proyectar y disponer en obra de unos materiales cuyas características físicas y mecánicas garanticen una compatibilidad adecuada con los materiales de la obra ya existente, lográndose así un comportamiento correcto durante la futura fase de servicio.

Esta compatibilidad debe valorarse al menos en una serie de propiedades físico-mecánicas, que son:

- Coeficiente de dilatación térmica
- Módulo de elasticidad
- Propiedades reológicas: retracción y fluencia



I. Esquema general para seleccionar la estrategia de intervención

Además, se deben exigir otras propiedades al sistema de reparación empleado entre las que, al menos, deben figurar las siguientes:

- Adhesión muy buena al hormigón viejo.
- Procesos de endurecimiento y curado no excesivamente exotérmicos, para evitar grandes deformaciones del material ya existente.
- Comportamiento adecuado frente a la clase de exposición ambiental a la que va a estar sometido el elemento estructural (figura 3).
- Resistencia frente a las radiaciones ultravioletas.

Finalmente, cabe destacar también la importancia de analizar correctamente las condiciones tensionales del elemento sobre el que se va a intervenir, así como del procedimiento y esquema estructural a seguir durante la ejecución. Estos factores condicionarán una mayor o menor contribución de la zona afectada respecto al estado tensional del elemento durante la vida de servicio de la estructura.

## SISTEMAS DE REPARACIÓN

### Tratamiento de fisuras

La aparición de fisuraciones en las estructuras de hormigón constituye una de las patologías de aparición más frecuente. Su origen puede ser muy variado. Mientras a veces es síntoma de una grave situación estructural, en otras ocasiones no se trata más que de un mero problema de índole estético, sin mayores repercusiones.

La fisuración de una estructura conlleva una serie de implicaciones que cabe recordar. En primer lugar, se trata de un síntoma del comportamiento inadecuado de la estructura frente a un estado tensional de tracciones que no ha sido capaz de soportar el hormigón. Pero, además, una vez aparecidas las fisuras, éstas se configuran como una vía preferente de gran permeabilidad relativa, por la que penetran las sustancias agresivas hacia el interior del hormigón, acelerando los consiguientes problemas de durabilidad (figura 4).

Además de su origen, al emprender la rehabilitación será necesario evaluar su naturaleza en relación con su estabilidad a lo largo del tiempo. Así, se habla de fisuras muertas

cuando su anchura permanece constante a lo largo del tiempo. Por contraposición, se denominan fisuras vivas al resto.

Al emprender la reparación, el tratamiento a seleccionar será en función de una serie de factores, entre los que destaca fundamentalmente la naturaleza de las fisuras. Así, dependiendo de que éstas sean vivas o muertas, se deberá diseñar una estrategia distinta. En resumen, los factores básicos que condicionan la selección del tratamiento de las fisuras pueden resumirse en:

- Naturaleza de las fisuras: vivas o muertas.
- Geometría de las fisuras: anchura y profundidad.
- Estado de solicitaciones a las que va a estar sometida la estructura en el futuro.

Como regla general, se inyectarán aquellas fisuras que no sea previsible que sufran movimientos en el futuro, mientras que para el resto de los casos se optará por una estrategia de sellado.

### Sellado de fisuras

El proceso de sellado de fisuras puede resumirse en las siguientes fases: cajeado de la fisura limpiando los labios de la misma, limpieza general de la fisura y sellado con masilla elástica.

El sellado puede consistir en la aplicación de una banda elástica que puentee la fisura, o bien puede contemplar la penetración, en mayor o menor grado de una masilla elástica capaz de absorber los movimientos que sean previsibles en la fisura.

Previamente a las operaciones de sellado, debe garantizarse una buena calidad del hormigón en las inmediaciones de la fisura a tratar, así como una buena adherencia del producto aplicado. Para ello, se procurará que esté sano, limpio y seco.

### Inyección de fisuras

La inyección de la fisura puede ser total o parcial. En ambos casos, tras la limpieza previa de la fisura, se procederá a la colocación de los inyectores, al sellado de la fisura y, finalmente, a la inyección propiamente dicha.



La presión de inyección necesaria depende de muchos factores, pero entre ellos cabe destacar: la anchura de la fisura, el taladro de la inyección y la viscosidad dinámica del producto. Todos ellos están ligados por la siguiente expresión:

$$P = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot \eta \cdot L(r)}{2 \cdot b^3 \cdot \pi} \cdot Q$$

donde

- P: Presión a la salida de la bomba (MPa)
- $\eta$ : viscosidad dinámica del proyecto (N/s.m)
- r: radio del taladro de inyección (cm)
- 2b: anchura de la fisura (cm)
- Q: caudal de inyección (cm<sup>3</sup>/s)

Los productos de inyección son, generalmente, resinas epoxi que presentan las siguientes propiedades: baja viscosidad, mínima retracción, excelente adherencia y rápido endurecimiento.

### Los morteros de reparación

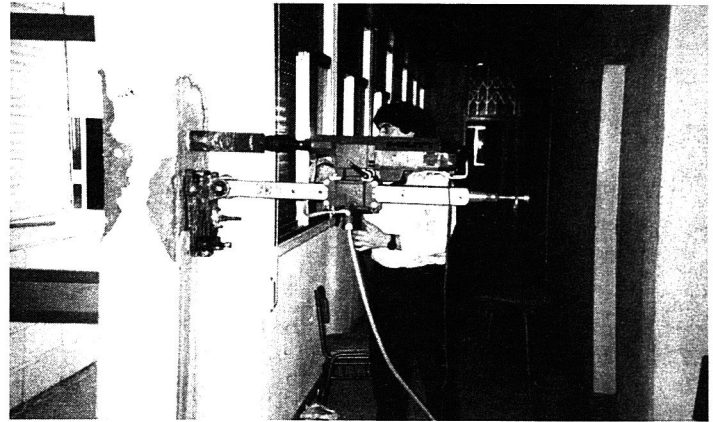
Dentro de este epígrafe se engloban todas aquellas actuaciones cuyo objetivo es la reposición o el recrecido de secciones de hormigón, mediante el aporte de un nuevo material que sea capaz de proporcionar las características físico-mecánicas adecuadas para solventar el problema planteado. Este puede tener su origen tanto en fallos de durabilidad, por ejemplo por corrosión de armaduras, como por una capacidad mecánica insuficiente para soportar los esfuerzos a los que es sometido el elemento (mala calidad del hormigón, cambio de uso estructural, etc.)

#### • Tipos de morteros de reparación

Los morteros de reparación pueden clasificarse, básicamente, en los siguientes tipos :

- Morteros y hormigones hidráulicos: consistentes en morteros u hormigones más o menos convencionales, pre-dosificados o no, según los casos.
- Morteros hidráulicos poliméricos: consistentes en morteros hidráulicos a los que se modifican sus propiedades mediante la adición de una cierta cantidad de polímeros, comprendida entre un 5 y un 20%.
- Morteros poliméricos termoestables: que pueden estar basados en resinas epoxídicas o de poliéster.

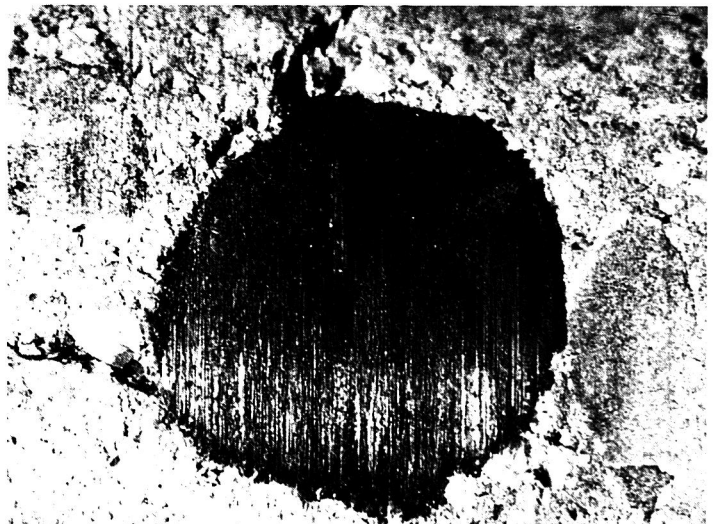
El hormigón se emplea siempre que las dimensiones de la zona a intervenir lo permitan. En este sentido, pueden establecerse como límite adecuado para su empleo aquellos casos en los que la zona tenga un espesor superior a tres veces el tamaño máximo del árido. Tanto para hormigones como para morteros, las precauciones a observar en su dosificación y puesta en obra son las mismas que deberían observarse para la consecución de un material de excelente calidad en una obra convencional. La relación agua/cemento deberá ser muy baja. Suele ser recomendable el uso de aditivos plastificantes que permitan una puesta en obra adecuada. Si el puente está situado en zonas de hielo-deshielo, deberán em-



2. Cualquier intervención estructural que pretenda ser eficaz debe partir de una fase previa de auscultación



3. Antes de la reparación se deben analizar correctamente las condiciones tensionales del elemento sobre el que se va a intervenir

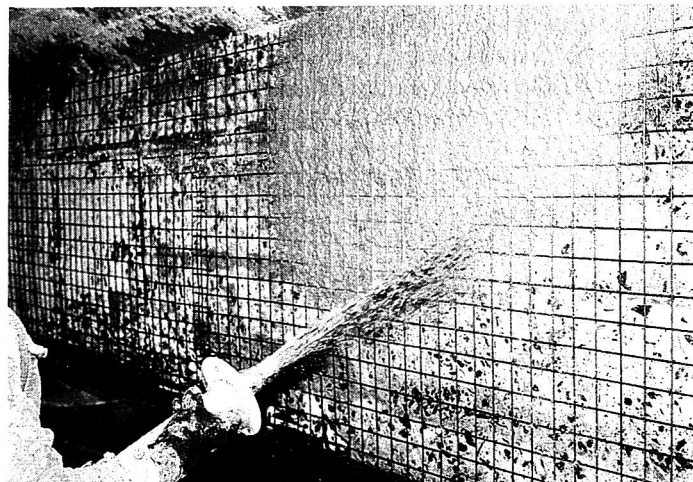


4. Testigo en el que se observa cómo la fisura ha provocado la formación de productos de corrosión en la zona más próxima de la armadura





5. Pasivación de las armaduras



6. Aplicación manual del mortero de reparación

plearse aditivos aireantes. Los morteros hidráulicos se emplean, en ocasiones, predosificados, lo que facilita su uso.

Como características más notables de estos tipos de material, cabe mencionar su bajo precio, su idoneidad para reparaciones en grandes volúmenes y su facilidad de ejecución. Requieren de una película de imprimación que garantice la adhesividad con el hormigón viejo, necesitan un cierto tiempo para aumentar su resistencia y tienen una susceptibilidad frente a los futuros problemas de durabilidad, propia de su naturaleza como mortero u hormigón.

Los morteros hidráulicos poliméricos se diferencian de los anteriores en función de las propiedades que le confieren la adición del polímero. En general, puede hablarse de mayor compacidad, mejor adherencia al soporte y mayor resistencia a tracción y flexotracción. Por el contrario, la resistencia a compresión no tiene porqué ser mayor, mientras que el módulo de elasticidad y el coeficiente de dilatación térmica son prácticamente los mismos que se obtendrían sin la adición de los polímeros.

Por su parte, los morteros poliméricos termoestables, pueden ser de dos tipos en función del tipo de polímero :

- Morteros epoxi: si el polímero es una resina de naturaleza epoxídica.
- Mortero de resina de poliéster: si el polímero consiste en una resina de poliéster.

Los morteros epoxi se caracterizan por unas peculiaridades mecánicas muy elevadas, que se logran en un período de tiempo muy reducido. Están formados generalmente por varios componentes que deben prepararse a pie de obra previamente a su empleo, siendo conveniente también en este caso la aplicación de una película de imprimación. Su precio es mucho más elevado que el de los morteros hidráulicos y su uso está restringido a volúmenes más limitados que en el caso de aquellos. Como aspecto claramente negativo, cabe destacar su deficiente comportamiento frente al fuego, dada la pérdida de propiedades que experimentan estas resinas cuando alcanzan temperaturas elevadas.

Por su parte, los morteros con resinas de poliéster, menos empleados que los anteriores, se diferencian de estos en la no necesidad de imprimación previa de la superficie, así como en su rapidísimo endurecimiento, lo que puede constituir en ocasiones un inconveniente para su empleo.

#### • Metodologías de reparación

##### Daños por corrosión de armaduras

Las reparaciones de daños originados por la existencia de armaduras corroídas (fisuraciones, pérdidas de recubrimientos, pérdida de sección de armadura, etc.), obedecen generalmente al siguiente esquema metodológico:

##### – Saneado del hormigón dañado

Inicialmente, debe procederse a la eliminación de la parte de hormigón que no esté sano, quitando todo resto de partículas sueltas, de materiales adheridos, manchas y suciedades, etc. Esto se realizará en una primera fase mediante medios mecánicos (picado, cepillado, etc.) y en una segunda, suele ser conveniente aplicar chorro de arena al objeto para eliminar al completo cualquier resto de material indeseable sobre la superficie.

La eliminación de material deberá alcanzar una profundidad mínima superior a 2 o 3 cm. por condiciones de ejecución o de un diámetro por condiciones de adherencia de la armadura.

##### – Limpieza y pasivación de las armaduras

La limpieza de las armaduras debe realizarse para eliminar los restos de óxido que se encuentre en las mismas. Con carácter general, se realizará mediante chorro de arena, si bien en alguna pequeña superficie puede ser aceptable emplear medios manuales. El grado de limpieza mínimo, en el caso de empleo de chorro de arena, será Sa2,5, según norma SIS 05 59 00.

La pasivación tiene por objeto proteger la armadura, formando una película continua e impermeable. Pueden emplearse diversos tipos de productos, tales como pastas de cemento modificadas con polímeros, resinas epoxi, etc. (figura 5).





7. Efectos del impacto de un buque sobre un puente

Evidentemente, en el caso de que la corrosión haya mermaado la sección de las armaduras, será necesario proceder a la sustitución de las armaduras corroídas por otras nuevas que repongan la capacidad mecánica de la sección.

#### – Recuperación de la sección de hormigón

Esta es la fase en la que intervienen los morteros de reparación, si bien en ocasiones, cuando los volúmenes de hormigón a reponer sean los adecuados, es posible recurrir también a otras técnicas, como es el caso del hormigón proyectado, que se tratará más adelante (figura 6).

En muchos casos, tal y como se ha indicado, puede ser necesario disponer de una película de imprimación para facilitar una buena adherencia entre el volumen reparado y el hormigón ya existente.

Dependiendo de cada caso concreto, el método de ejecución puede ser muy diferente:

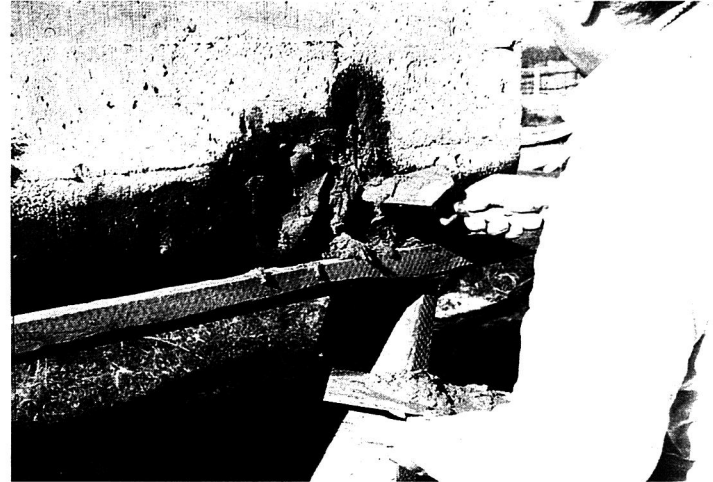
- Encofrado convencional y hormigonado (normal o mediante bombeo).
- Aplicación a mano en sucesivas capas, mediante llana.
- Hormigón pre-pack (colocación previa del árido e inyección del mortero).
- Dry-pack (colocación de morteros muy secos y retacado posterior).
- Otros.

#### – Protección de las superficies reparadas

Una vez ejecutada la reparación, se deberá proceder al revestimiento y protección de la superficie de la estructura mediante una pintura de protección. En ocasiones, es necesario enlucir con mortero previamente la superficie para conseguir un buen acabado superficial, en cuyo caso se procurará extremar las precauciones para evitar fisuraciones nocivas.

#### Reposición de sección por otros daños

Los daños con otros orígenes distintos de la corrosión de las armaduras, tales como impactos (figura 7), erosión u otras causas, se deben reparar con una metodología análoga a la expuesta anteriormente, con la diferencia de que, en es-



8. Problema de rebote de "sombras" tras las armaduras

tos casos, la armadura no es la referencia de la reparación, por lo que el volumen a reparar vendrá definido por la magnitud de los daños encontrados. Además, en estos casos, tampoco será necesario proceder a ninguna intervención especial sobre la armadura.

#### El mortero y hormigón proyectado

En aquellas ocasiones en las que, tras las operaciones de saneado, limpieza y pasivación de las armaduras, el volumen de hormigón a reponer sea importante, puede ser interesante recurrir al empleo de mortero u hormigón proyectado.

El hormigón proyectado consiste en el proceso continuo de colocación del hormigón mediante su lanzamiento a presión sobre la superficie en la que se va a colocar. Requiere de unas instalaciones específicas más sofisticadas que el hormigón convencional, pero permite obtener unos rendimientos muy notables.

La técnica presenta sus ventajas e inconvenientes. Entre las primeras ya se ha hecho mención del alto rendimiento, lo que hace que se trate de una solución competitiva en ciertos casos. Entre las segundas, cabe destacar el problema del rebote, así como la problemática asociada a las zonas de sombra como consecuencia de la presencia de armaduras (figura 8).

Existen dos procedimientos para llevar a cabo la proyección del hormigón:

- Proyección por vía seca
- Proyección por vía húmeda

#### • La proyección por vía seca

Consiste en un procedimiento por el cual se mezclan todos los componentes del hormigón, excepto el agua. Dicha mezcla se transporta a presión por medio de mangueras hasta la boquilla de salida. En el extremo de dicha boquilla de proyección es cuando se incorpora el agua, antes justo del lanzamiento de la mezcla.

Este procedimiento implica, por lo tanto, el desconocimiento de la dosificación empleada, dependiendo la canti-





dad de agua de la apreciación del operador que maneja la boquilla y que va regulándola en función de su experiencia.

Por otro lado, este procedimiento de vía seca conlleva unas condiciones de trabajo para el operador bastante penosas, dada la gran generación de polvo que tiene lugar.

- La proyección por vía húmeda

La proyección por vía húmeda conlleva la dosificación previa de la mezcla, incluida el agua, para posteriormente ser transportada mediante mangueras hasta la boquilla de lanzamiento, en la que el operador no tiene necesidad de alterar la dosificación.

Este es un sistema posterior al de vía seca y que en la actualidad tiende a imponerse, en especial como consecuencia de las mejores condiciones de trabajo que conlleva. Entre las ventajas de este sistema frente al de vía seca, además de la ya citada de menor generación de polvo, cabe destacar el menor rebote que se produce, así como la circunstancia de que la cantidad agua/cemento en este caso es bien conocida.

- Materiales a emplear en el hormigón proyectado

En principio, podría afirmarse que la dosificación de los hormigones proyectados no tiene justificación para ser diferente de la de otro hormigón que se coloque mediante procedimientos convencionales.

Sin embargo, es cierto que existen ciertas peculiaridades que se recogen a continuación:

- El tamaño máximo del árido no debe ser superior a 10 mm.
- Es conveniente el empleo de ciertas adiciones, en concreto microsilíce, para minimizar el rebote que se produce.
- La relación árido/cemento puede llegar a alcanzar valores de hasta 4, de forma que una vez producido el rebote, la relación real del hormigón colocado esté comprendida entre 2 y 3.
- En el caso de proyección por vía seca, es conveniente que el árido posea cierto grado de humedad para facilitar el transporte de la mezcla por las mangueras. Esta humedad recomendable puede cifrarse entre un 5 y un 8%. No son aconsejables valores superiores, ya que podría provocar taponamientos.
- Las dosificaciones normales de cemento están entre 300 y 400 Kg/m<sup>3</sup> si bien en ocasiones se tiene que sobrepasar esta cifra.
- Cada vez es más habitual el empleo de fibras de acero, que disminuyen el rebote y mejoran el comportamiento mecánico final.

- Ejecución del hormigón proyectado

Para la correcta puesta en obra del hormigón proyectado es imprescindible que, además de disponer de los equipos con la tecnología necesaria, se disponga del personal con la experiencia adecuada.

En el caso de que sea necesario ejecutar volúmenes muy elevados, se deberán disponer diferentes tongadas con espesores no superiores, en general, a 25 mm.

El rebote, consecuencia de la energía de rechazo que se produce al impactar los áridos sobre el hormigón previamente colocado, puede disminuirse en función de una serie de factores:

- Experiencia del operario.
- Ángulo de inclinación de la superficie a reparar, siendo mínimo para las superficies verticales.
- Distancia desde la boquilla hasta la superficie a reparar, siendo mínimo para valores alrededor de 1,0 metro.
- Empleo de aditivos especiales, en porcentajes alrededor de un 2 o 3%.
- Empleo de microsilíce como adición, en porcentajes generalmente inferiores al 5%.
- Empleo de fibras de acero, en general en proporciones inferiores a 80 Kg/m<sup>3</sup>.

Un problema adicional a esta técnica consiste en las zonas de sombra que quedan tras las armaduras y cuyo hormigonado debe cuidarse especialmente, variando el ángulo de ataque de la boquilla al objeto de evitar la formación de coqueas y zonas deficientemente hormigonadas.

Actualmente, existe ya todo un desarrollo normativo español sobre este tipo de hormigones, que se recogen en las normas UNE 83.600 a 83.609.

## SISTEMAS DE REFUERZO

A veces, se presenta la necesidad de incrementar la capacidad portante de un elemento, bien porque sus características mecánicas son inadecuadas, en relación con las contempladas en el proyecto original, o bien porque un cambio de uso condiciona unas cargas superiores con la consiguiente demanda de un incremento de la capacidad portante (figura 9).

En estos casos, es necesario proceder al refuerzo del elemento estructural y para ello pueden plantearse diferentes alternativas:

- Sustitución de un hormigón de mala calidad por uno de mejores características resistentes, manteniendo las secciones existentes.
- Recrecido de secciones para mejorar la capacidad portante del elemento.
- Aporte de nuevas armaduras embebidas dentro de la sección existente de hormigón que permita soportar los esfuerzos durante la vida de servicio.
- Aporte de nuevas armaduras en forma de chapas de acero encoladas sobre la superficie de la sección de hormigón existente.
- Otras técnicas (pretensados exteriores, cosidos locales, etc.).

En todos los casos, es fundamental la realización de un estudio adecuado para el apeo de las cargas que transmite el elemento previamente a la realización del refuerzo. Ello condicionará de forma determinante el futuro comportamiento tensional en servicio del refuerzo realizado.



### Sustitución de un hormigón por otro de mejor calidad

Aun no siendo un procedimiento muy habitual, en los casos en los que se recurre a él, los procedimientos, materiales y precauciones a tener en cuenta son similares a los ya indicados para la recuperación de secciones de hormigón dañadas por corrosión y para la reposición de sección como consecuencia de otros orígenes distintos de la corrosión.

### Recrecido de secciones

Este es un procedimiento bastante usual, que consiste en lograr el incremento de la capacidad mecánica del elemento, mediante el aumento de sus dimensiones con un hormigón de buena calidad (figura 10).

Generalmente, este sistema conlleva también el aporte de nueva armadura que se integra en la nueva sección.

El método a seguir consiste siempre en las siguientes fases:

- Apeo del elemento para liberarlo, al máximo posible, de las cargas que transmite.
- Repicado superficial del hormigón existente.
- Disposición de las barras principales necesarias, soldándolas o anclándolas de manera adecuada.
- Disposición de estribos para la nueva sección que serán, al menos,  $\phi 8$  a 0,10.
- Aplicación de una capa de imprimación con resina epoxi, al objeto de mejorar las condiciones de la interfase entre el hormigón nuevo y el ya existente.
- Hormigonado de la nueva sección, mediante procedimientos convencionales, o bien mediante hormigón proyectado.
- Aplicación de una capa de protección para la nueva superficie

En ocasiones, puede ser conveniente ejecutar un llagueado entre el hormigón nuevo y el antiguo, de manera que mejore la transmisión de esfuerzos.

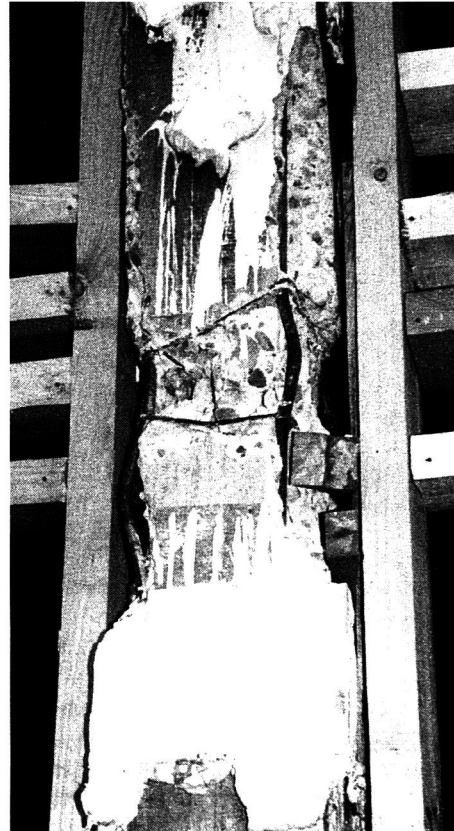
El espesor mínimo a recrecer mediante este procedimiento será de 5cm, en el caso de hormigón proyectado, o de 10 cm, en el caso de hormigón con un encofrado convencional.

### Refuerzo con chapas metálicas encoladas al hormigón

A veces, el recrecido de la secciones no es posible, o bien no conviene seguir procedimientos de ejecución en los que la armadura suplementaria se integre dentro de la sección de hormigón. En estos casos, puede ser una solución adecuada la aplicación de la armadura adicional necesaria en forma de chapas metálicas, adheridas sobre la superficie del hormigón (figura 11).

El refuerzo mediante chapas encoladas permite reforzar cualquier elemento, tanto en su capacidad a flexión como frente al esfuerzo cortante. En este tipo de técnica, es básica la calidad que se logre en la unión entre las chapas y el hormigón. Dicha calidad se fundamenta en:

- La calidad del producto adhesivo: resina.



9. Rotura a compresión de un pilar

10. Refuerzo mediante la incorporación de armadura pasiva y recrecido de la sección







11. Refuerzo de pilar: mediante perfiles angulares y chapas encoladas con resinas epoxi

- El estado de la superficie del hormigón y del acero.
- El proceso seguido para la ejecución.

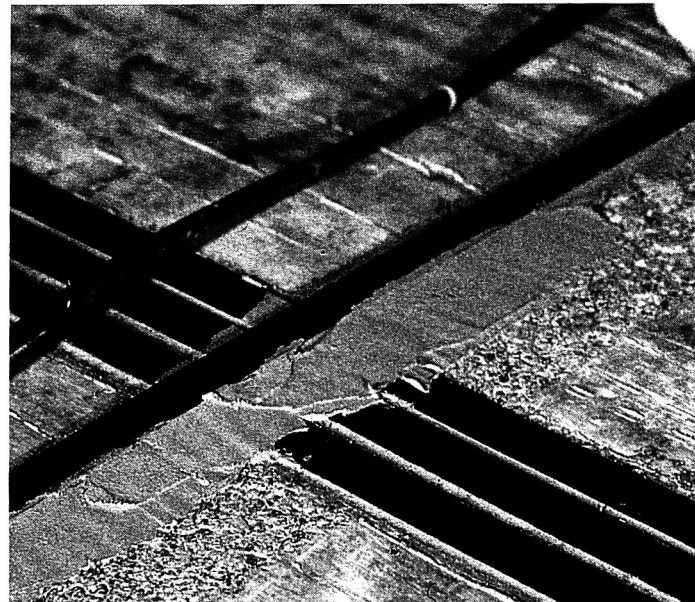
Esta técnica presenta una serie de ventajas que la pueden hacer muy competitiva frente a otras. Recientemente, un grupo de trabajo de la AIPCR, creado en España para la elaboración de un documento sobre *Durabilidad y reparación de puentes de hormigón*, enumeraba las ventajas y posibles inconvenientes del refuerzo mediante chapas encoladas, de acuerdo con el siguiente esquema.

Ventajas	Inconvenientes
Rapidez y sencillez	Materiales de alta calidad
Pequeños cambios en dimensiones del elemento	Temperatura de trabajo limitadas inferiores a los 70 °C
Versatilidad frente al tipo de esfuerzos	No recomendable en presencia de humedad
	Mano de obra muy especializada

El proceso a seguir para efectuar un refuerzo de este tipo obedece a los siguientes pasos:

- Preparación de la superficie

La superficie debe prepararse y acondicionarse para su mejor comportamiento frente al adhesivo. Debe tratarse de una superficie limpia, sin defectos superficiales y con unas características mecánicas adecuadas. Estas últimas, se pueden evaluar mediante un ensayo de arrancamiento, siendo recomendable valores de resistencia a tracción superiores a 15 Kg/cm<sup>2</sup>. Además, la superficie deberá cumplir una serie de condiciones geométricas de planeidad, que sean capaces de garantizar un buen contacto con las chapas metálicas.



12. Refuerzo estructural mediante bandas de fibra de carbono en matriz de polímeros (CFRP)

- Preparación de las chapas metálicas

Los elementos metálicos no deben ser más anchos de 3 mm, pues son de difícil manipulación. En el caso de tratarse de refuerzos en los que se necesiten espesores superiores es preferible recurrir a disponer varias chapas superpuestas. Las chapas deben estar, por supuesto, limpias y haber sido tratadas adecuadamente frente a la corrosión (pintadas con resina).

- Aplicación del adhesivo

Una vez limpias las superficies, tanto del hormigón como de la chapa, se procede a la aplicación del adhesivo que, normalmente, se trata de una resina epoxi bastante fluida.

- Colocación de la chapa

Una vez aplicada la resina, tanto en la chapa como sobre el hormigón, se procede a la colocación de las chapas y a la aplicación de presión sobre las mismas, mediante los medios auxiliares que sean precisos, tales como puntales, cuñas, gatos, etc.

#### Otros sistemas de refuerzo

Recientemente, han aparecido nuevos materiales aplicables al refuerzo de estructuras, que pueden ser alternativa, en ciertos casos, a los procedimientos convencionales y, en especial, al refuerzo con chapas de acero encoladas. Estos productos están basados en el refuerzo con fibra de carbono. Cabe destacar dos: las bandas de fibra de carbono en matriz de polímeros (CFRP) y la aplicación de camisas de fibra de carbono para refuerzo (figura 12).

El primero de ellos, las bandas de fibra de carbono en matriz de resina, parte de la misma filosofía de los refuerzos con chapas encoladas, pero con la ventaja de sus altas prestaciones mecánicas, su facilidad de manejo y aplicación, y su imposibilidad de sufrir procesos de corrosión.



El segundo sistema, partiendo del mismo material, la fibra de carbono, emplea una tecnología especial mediante máquinas especiales que encamisan un elemento, zunchándolo y permitiendo el incremento de sus capacidades mecánicas.

### PROTECCIÓN SUPERFICIAL DE LA REPARACIÓN

Una vez efectuadas las operaciones de refuerzo o reparación, es conveniente proceder a la protección superficial de la estructura. Ello conlleva, además, la consecución de una mayor homogeneidad de aspecto entre la zona reparada y el resto de la estructura.

A la protección superficial se le deben exigir, al menos, tres aspectos: resistencia a la carbonatación, permeabilidad al vapor de agua y capacidad de puenteo de fisuras.

La primera de las características apuntadas es, probablemente, la más extendida hasta el punto de que, generalmente, estos productos se conocen como pinturas anticarbonatación. Para asegurar que así sean, se debe pedir que el espesor de la película aplicada garantice una resistencia al anhídrido carbónico superior a 50 m.

Paralelamente, se necesita que la protección aplicada sea capaz de permitir el paso del vapor de agua, para evitar procesos posteriores de deterioro como consecuencia de la humedad interna que posee el hormigón. Una resistencia al vapor de agua inferior a 4m puede considerarse, en general, suficiente.

La necesidad de que la película aplicada puentee fisuras surge de su propia naturaleza de protección dado que, si se fisura con las posibles deformaciones del elemento estructural, dicha capacidad protectora se verá automáticamente anulada.

### BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE: *CONCRETE REPAIR GUIDE*. ACI REPORT 546R-96. ACI CONCRETE MANUAL. 1997.
2. CARBONELL DE MASSY, M.: *PROTECCIÓN Y REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN*. EDITORIAL OMEGA. 1996.
3. EMMONS, P. H.: *CONCRETE REPAIR AND MAINTENENCE ILLUSTRATED*. R. S. MEANS COMPANY INC. 1994.
4. FERNÁNDEZ CÁNOVAS, M.: *PATOLOGÍA Y TERAPEÚTICA DEL HORMIGÓN ARMADO*. EDITORIAL DOSSAT. 1984.
5. GRUPO ESPAÑOL DE HORMIGÓN (GEHO): *REPARACIÓN Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. GUÍA FIP DE BUENA PRÁCTICA*. BOLETÍN GEHO Nº 14. 1994.
6. MALLEY, G. P.: *REPAIR OF CONCRETE BRIDGES*. TRANSPORT ROAD LABORATORY (TRL). THOMAS TELDFOR. 1994.